

# Impronta idrica a scala di bacino: il caso studio dell'alta Valle Arroscia

**Brighenti Stefano**<sup>1,2\*</sup>, **Bona Francesca**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Libero professionista, via Ponzoni 40 – 18026 Pieve di Teco (IM)*

<sup>2</sup> *DBIOS Università degli Studi di Torino, via Accademia Albertina 13 – 10123 Torino*

\* *Referente per la corrispondenza: stefano.brighenti85@gmail.com*

*Pervenuto il 6.9.2013; accettato il 6.10.2013*

## Riassunto

La gestione sostenibile delle risorse idriche a scala di bacino è indicata dalla DIR 2000/60 come una priorità di interesse comunitario. Gli strumenti tradizionali di studio consistono in valutazioni puntiformi degli elementi biologici per analisi di qualità ecologica, oppure nel censimento delle derivazioni e captazioni secondo un'ottica ingegneristica ed antropocentrica che trascurava considerazioni di carattere ambientale. Il presente lavoro ha come scopo la presentazione della metodologia di impronta idrica, utilizzabile in differenti contesti ai fini del raggiungimento degli obiettivi della DIR 2000/60 e per la transizione verso un'economia sostenibile, riconosciuta a livello internazionale ma in Italia ancora poco nota e inapplicata. Il metodo analizza secondo un approccio ecocentrico i volumi d'acqua dolce che le attività umane sottraggono al ciclo idrologico tramite prelievi e inquinamento. L'impronta idrica ha un grande potere riassuntivo e divulgativo. Inoltre permette, attraverso una contestualizzazione alla realtà locale, una stima della sostenibilità idrica delle attività economiche. Viene qui presentata una prima applicazione al bacino dell'alta Valle Arroscia (Liguria), territorio scarsamente popolato interessato da coltivazioni e pastorizia tradizionali e da una limitata attività industriale.

PAROLE CHIAVE: impronta idrica / bacino idrografico / sostenibilità ambientale

## Water Footprint within the Arroscia valley

Sustainable water management at the river basin level is stated by the Water Framework Directive 2000/60/EU as a priority of European interest. The conventional tools of analysis consist in point evaluation of biological elements for the assessment of environmental quality, or in the census of water abstractions and derivations, with an engineering and anthropocentric outlook neglecting environmental considerations. With the present work we display a new methodology, suitable to fulfill the targets of the Water Framework Directive 2000/60/EU in different contexts and to transition to a sustainable economy, so far unknown and unused in Italy despite international recognition. Water footprint calculation analyzes, from an ecocentric standpoint, the freshwater volumes appropriated by human activities from the water cycle through utilization, abstractions and pollution. This method has a strong summarizing and educational power. Furthermore it allows, through the contextualization to the local situation, a sustainability analysis of human activities. Here we present a first application to the upper Arroscia river basin (Liguria region), a scarcely populated area where the main human activities are traditional agriculture and livestock rearing, and scarce industrial activities.

KEY WORDS: water footprint / river basin / environmental sustainability

## INTRODUZIONE

Le problematiche legate all'inquinamento e allo sfruttamento dell'acqua dolce sono temi sempre più attuali, in un mondo caratterizzato da una crescente espansione demografica e da una progressiva occidentalizzazione degli stili di vita. La gestione sostenibile delle risorse idriche è tra le principali sfide del nuovo millennio (UNEP, 2012).

Sempre maggiore a livello internazionale è l'attenzione rivolta alla cosiddetta "governance dell'acqua", definita dalla Global Water Partnership come "la varietà dei sistemi politici, sociali, economici ed amministrativi messi in atto per sviluppare e gestire le risorse idriche, e la fornitura dei servizi idrici, ai differenti livelli della società" (Rogers et Hall, 2003). È necessa-

rio superare il concetto di “gestione” per abbracciare un approccio più olistico, perché le tematiche legate alle risorse idriche si intrecciano indissolubilmente con quelle dell'utilizzo del territorio, dell'uso del suolo, della pianificazione paesaggistica, dei cambiamenti climatici, dello sviluppo demografico, del consumo e della produzione economica, della salute pubblica, della gestione ambientale, del mercato internazionale, delle politiche, della cooperazione allo sviluppo e della sicurezza nazionale (Hoekstra, 2011).

La fase di ricarica a terra del ciclo dell'acqua è il bacino idrogeologico, dal momento in cui in esso vengono costantemente riciclate le disponibilità idriche che possono essere utilizzate dall'uomo. Il bacino viene dunque assunto come unità di riferimento per il monitoraggio, la gestione e l'allocazione delle risorse idriche. L'obiettivo della sostenibilità è fare in modo che a tale livello le esigenze dell'economia in termini di prelievi ed inquinamento non compromettano quelle della società (attuale e futura) e dell'ambiente, e che vi sia un equilibrio tra i tre sistemi che, convivendo nello stesso territorio, utilizzano la stessa risorsa vitale.

### L'impronta idrica

L'economia è responsabile dell'inquinamento e dello sfruttamento dell'acqua dolce a scala di bacino, perché determina quali prodotti vengono immessi sul mercato e in che modo questi vengono realizzati. Esiste dunque una connessione tra il consumo delle merci e lo sfruttamento dell'acqua dolce che è stato necessario per produrle. Questo dato di fatto è stato concettualizzato con l'ideazione del termine di “acqua virtuale” (Allan, 1996), definita come l'acqua totale necessaria per produrre un bene o un servizio. Importando prodotti dall'estero, i Paesi importano virtualmente anche quell'acqua che è stata necessaria per produrli, riducendo in questo modo le pressioni sulle proprie risorse idriche ma incrementando al contempo quelle sulle risorse dei Paesi esportatori. Hoekstra (2003) ha implementato il concetto di “virtual water”, introducendo quello di “water footprint” (WF) o impronta idrica: essa, riferita ad un prodotto o un servizio, è il volume totale di acqua dolce sfruttata per la sua produzione, lungo tutte le fasi del processo di produzione (Hoekstra *et al.*, 2011). Lo sfruttamento dell'acqua dolce non compete solo ai produttori ma anche ai consumatori i quali, tramite i prodotti che acquistano ed i servizi di cui si avvalgono, lasciano sulle risorse di acqua dolce del Pianeta un'impronta più o meno elevata.

Il numero di applicazioni del concetto di impronta idrica sta rapidamente crescendo (Hoekstra *et al.*, 2011), anche se gli studi principali sono focalizzati su

quattro livelli: processo, settore, unità amministrativa, scenario globale. A livello di processo Chapagain *et al.* (2006) hanno calcolato ad esempio la WF della produzione del cotone. A livello di prodotto, Mekonnen e Hoekstra (2011) hanno stimato la WF di 126 colture in tutto il mondo per il periodo 1996-2005, con un'elevata risoluzione spaziale. Sono stati anche sviluppati calcoli di impronta relativi alla pasta e alla pizza in Italia (Aldaya e Hoekstra, 2009) e al consumo di tè e di caffè (Chapagain e Hoekstra, 2007). A livello di settore Aldaya *et al.* (2010) hanno calcolato per la Spagna la WF dei settori domestico, industriale ed agricolo. A scala nazionale sono state indagate le impronte di Cina (Liu e Savenije, 2008; Ma *et al.*, 2006), Indonesia (Bulsink *et al.*, 2010), Olanda (Van Oel *et al.*, 2009), Regno Unito (Chapagain e Orr, 2008), e Francia (Erkin *et al.*, 2012). A livello globale, la WF dei servizi e dei beni consumati dalle varie nazioni è stata quantificata da Hoekstra e Chapagain (2007) e da Hoekstra e Mekonnen (2012).

### L'impronta idrica a scala di bacino

Nonostante l'abbondanza di letteratura in materia di impronta idrica, pochi studi sono stati condotti sinora a livello di bacino (UNEP, 2011). In Spagna Aldaya e Lamas (2008) hanno indagato la WF del bacino del Guadiana, mentre Rodriguez-Casado *et al.* (2009) quella del Guadalquivir. Uscendo dai confini comunitari, Brown *et al.* (2009) hanno analizzato la WF della valle del basso Fraser e del bacino dell'Okanagan (Canada), Zeitoun *et al.* (2010) quella del bacino del Nilo, mentre Zeng *et al.* (2012) quella dell'Heite (Cina).

La maggior parte di questi studi si è focalizzata principalmente sull'acqua virtuale in ingresso e in uscita e sul rapporto tra commercio, efficienza idrica e risorse locali. Solamente i lavori di Rodriguez-Casado (2009) e Zeng *et al.* (2012) si sono soffermati anche sull'allocazione dell'acqua nei differenti settori economici all'interno del bacino, contestualizzando l'impronta idrica alla disponibilità effettiva della risorsa nel bacino ed effettuandone una valutazione di sostenibilità ambientale (Zeng *et al.*, 2012).

La Spagna, anche a causa di evidenti necessità legate alla scarsità idrica, è il Paese europeo che maggiormente sta prestando attenzione al tema della WF a scala di bacino, a tal punto che tale tipologia di valutazione è stata inserita nelle linee guida per la pianificazione idrologica a livello sia nazionale (ORDEN ARM/2656/2008) sia regionale (Ley 9/2010). In attesa di un incremento di pubblicazioni spagnole innescato dall'importante innovazione legislativa, è chiaro come anche in un Paese altrettanto mediterraneo come il nostro, in cui la scarsità idrica è una priorità anche a livello comunitario (EEA, 2012a) debba essere alta

l'attenzione nei confronti di questo nuovo metodo, come del resto indicato anche dalle linee guida dell'Unione Europea (EEA, 2012b).

Il presente lavoro si inserisce proprio in questo quadro di riferimento, ed ha come oggetto lo studio dell'impronta idrica interna all'alta Valle Arroscia (Liguria), al fine di valutare l'allocazione delle risorse idriche nei differenti settori produttivi dell'economia e di determinarne la sostenibilità ambientale attraverso il metodo descritto da Hoekstra *et al.* (2011).

Il lavoro, il primo di questo tipo a livello nazionale, presenta delle novità rispetto ai lavori analoghi svolti sinora a scala di bacino. Innanzitutto la scala molto piccola alla quale si è lavorato (253 km<sup>2</sup> contro, ad esempio, i 67000 km<sup>2</sup> del Guadiana, i 57527 km<sup>2</sup> del Guadalquivir, i 10200 km<sup>2</sup> dell'Okanagan ed i 13300 km<sup>2</sup> della valle del Fraser). Si è inoltre calcolata l'impronta idrica grigia, definita nella sezione "Materiali e metodi", che negli studi pregressi a scala di bacino è stata invece tralasciata. In ultimo vi è il tentativo di includere nei calcoli tutte le attività produttive che insistono sulla valle, e non solo quelle principali ma comprendendo ad esempio anche gli orti famigliari che sono una parte fondamentale dell'economia locale.

## MATERIALI E METODI

### Area di studio

Il bacino del torrente Arroscia (Provincia di Imperia, 2003) è situato nel ponente ligure e fa parte di quello più ampio del fiume Centa. L'area di studio (Fig. 1) ne rappresenta la porzione imperiese (253 km<sup>2</sup>), che occupa il tratto medio-alto della Valle Arroscia e comprende i territori amministrativi di 14 comuni, con una popolazione complessiva di 5000 abitanti (Provincia di Imperia, 2009). Con un territorio collinare-montano tipico dell'entroterra ligure, il bacino è caratterizzato da un clima mediterraneo montano, con una transizione verso la continentalità all'aumentare della quota e della distanza dal mare (Provincia di Imperia, 2003).



Fig. 1. Il contesto territoriale. In tratteggio l'alta Valle Arroscia.

Le risorse idriche principali sono date da numerose sorgenti e dal torrente Arroscia ed i suoi due principali affluenti, l'Aroghna ed il Giara di Rezzo, che determinano i due sottobacini principali.

L'economia valliva è caratterizzata prevalentemente dalle produzioni agricole (Provincia di Imperia, 2009), scarsamente remunerative ed organizzate prevalentemente secondo i tipici terrazzamenti liguri, che occupano il 10% circa del territorio. Vi è una preponderanza di uliveti (72%) e vigneti (14%), seguiti da colture agrarie (12%), frutteti e vivai (2%). Di minore importanza economica sono il settore della zootecnia estensiva e quello industriale.

### L'impronta idrica

L'impronta idrica (WF) all'interno di un territorio è data dalla somma delle impronte di ciascun processo produttivo, ed è composta di tre sottoimpronte: blu, verde e grigia (Fig. 2).

L'impronta idrica blu (WF<sub>blue</sub>) è un indice di sfruttamento delle acque superficiali o sotterranee (acque blu), che possono essere sottratte al bacino tramite: evaporazione, traspirazione, incorporamento nei prodotti, prelievi non restituiti o restituiti in un periodo dell'anno differente da quello di prelievo. L'impronta idrica verde (WF<sub>green</sub>) è un indice di sfruttamento di quell'acqua di precipitazione che non va ad alimentare il deflusso o la falda, ma che viene stoccata nel suolo o rimane temporaneamente nella porzione superficiale del terreno o sulla vegetazione (acqua verde), e che può essere sottratta al bacino tramite l'evaporazione e la traspirazione.

L'impronta idrica grigia (WF<sub>grey</sub>) è un indice dell'inquinamento provocato, ed è calcolato come il volume di acqua dolce necessario per diluire gli inquinanti fino alle concentrazioni stabilite dagli standard di qualità esistenti.

Oggetto dello studio è il calcolo dell'impronta idrica annuale dell'alta Valle Arroscia (WF<sub>Arr</sub>), ottenuta dalla somma delle impronte di ciascun settore produttivo ricadente al suo interno (Tab. I).

### Impronta dell'agricoltura

L'impronta dell'agricoltura (WF<sub>agr</sub>) ha come componenti verde (WF<sub>agr,green</sub>) e blu (WF<sub>agr,blue</sub>) i valori di evapotraspirazione (ET) dai campi coltivati. Sono pertanto stimate per ogni tipologia di coltura l'evapotraspirazione annuale dell'acqua verde (ET<sub>green</sub>) e di quella blu (ET<sub>blue</sub>), calcolate tramite il metodo FAO Penman-Monteith come descritto da Allen *et al.* (1998), attraverso il programma di calcolo CROPWAT 8.0 (FAO, 2010), e seguendo il metodo descritto da Hoekstra *et al.* (2011).

Il foglio elettronico di lavoro è impostato con le

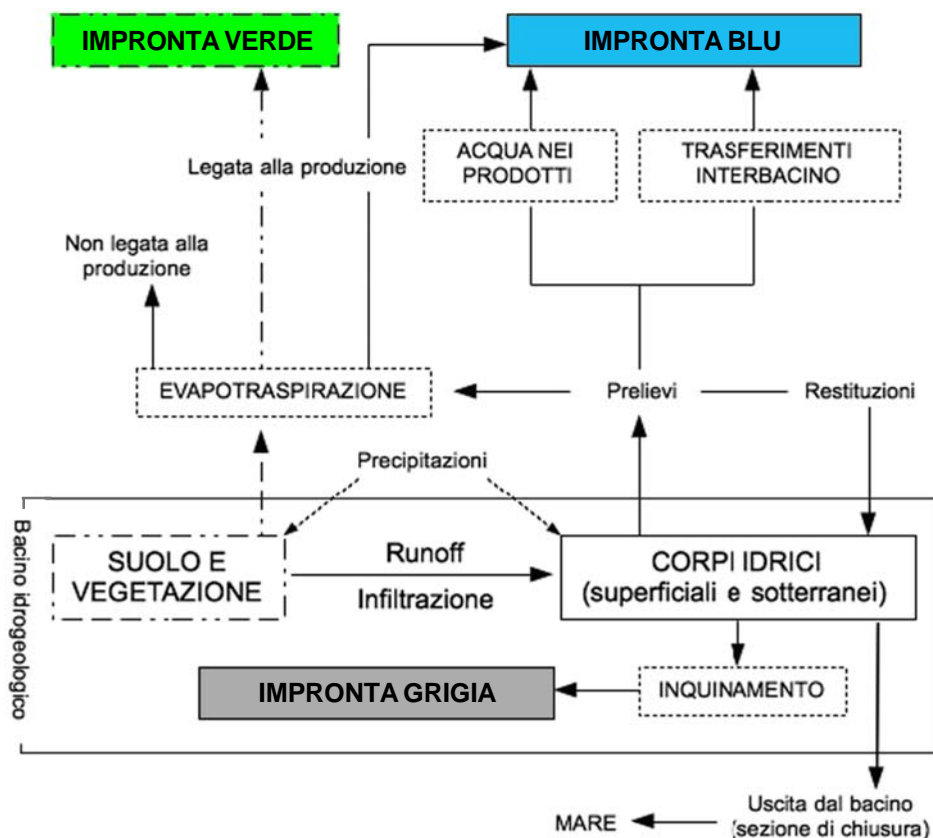


Fig. 2. Dimensioni dell'impronta idrica in relazione al bilancio idrico a scala di bacino.

Tab. I. Impronta idrica della Valle Arroscia suddivisa per tipologia e settore produttivo.

SETTORE	Attività	IMPRONTA VERDE	IMPRONTA BLU	IMPRONTA GRIGIA
Agricoltura	Oliveti Vigneti Frutteti Colture agrarie	Acqua piovana evapotra- spirata dalle coltivazioni	Acqua irrigua evapotraspi- rata dalle coltivazioni	Acqua teorica di diluizione dei fitofarmaci che raggiun- gono i corpi idrici
		Impronta idrica dell’agricoltura		
Allevamento	Vacche da latte Vacche da carne Pecore	Acqua piovana evapotra- spirata per la produzio- ne del foraggio	Acqua bevuta dagli animali Acqua per i servizi al be- stiaime	Acqua teorica di diluizione dell’azoto che dalle deiezio- ni raggiunge i corpi idrici
		Impronta idrica dell’allevamento		
Industria	Imbottigliamento acqua Produzione calcestruzzo Taglio materiali e roccia		Acqua inglobata nelle merci Acqua di processo non re- stituita	
		Impronta idrica dell’industria		
Settore domestico	Approvvigionamento idrico Trattamento reflui		Acqua persa dalla rete Trasferimenti interbacino	Acqua teorica di diluizione dell’azoto immesso con i re- flui urbani
		Impronta idrica del settore domestico		
TOTALE ATTIVITÀ NEL BACINO		IMPRONTA IDRICA DELL’ALTA VALLE ARROSCIA		

opzioni 'Crop Water Requirement' (*CWR*), 'single crop coefficient'. CROPWAT 8.0 viene utilizzato per stimare l'utilizzo idrico annuale di ciascuna coltura (*CWU*, in m<sup>3</sup>/ha), calcolato a partire dall'evapotraspirazione ET. Conoscendo il numero di ettari (*A*) interessati alla coltivazione di ciascuna coltura [*q*], da *CWU* si ottiene la sua impronta idrica (*WF<sub>crop</sub>*):

$$WF_{crop, green} [q] = A \cdot CWU_{green} = A \cdot 10 \cdot ET_{green} \quad [m^3/anno]$$

$$WF_{crop, blue} [q] = A \cdot CWU_{blue} = A \cdot 10 \cdot ET_{blue} \quad [m^3/anno]$$

*CWU<sub>green</sub>* rappresenta l'acqua piovana totale evapotraspirata da ogni ettaro di terreno durante la stagione vegetativa *lgp*, mentre *CWU<sub>blue</sub>* ne rappresenta la frazione irrigua. Non avendo a disposizione i reali volumi di irrigazione, si assume che tutta l'acqua necessaria alle piante venga fornita dagli agricoltori, e che *ET<sub>blue</sub>* corrisponda all'acqua di irrigazione. Per le colture in cui è effettivamente conosciuto il periodo in cui avviene l'irrigazione (vigneto, frutteto, colture agrarie) si ricava *ET<sub>blue</sub>* considerando solo tale arco temporale.

I dati meteorologici relativi alle tre stazioni ricadenti nel bacino (Pieve di Teco, Pornassio, Ranzo) sono forniti dall'ARPAL-CMIRL. A ciascuna stazione sono riferiti i dati necessari per i calcoli relativi ai campi coltivati ad essa più vicini. *WF<sub>crop, green</sub>* e *WF<sub>crop, blue</sub>* sono ottenuti dalla media dei valori di impronta su tre anni consecutivi (2008, 2009, 2010), gli unici con un dataset completo per tutte e tre le stazioni di riferimento. I dati relativi alle ore di sole sono stimati tramite il programma di calcolo NEW\_LOCCLIM (FAO, 2005).

I dati relativi ai parametri delle colture sono ricavati da Allen *et al.* (1998) e dalle linee guida della FAO (Doorenbos e Kassam, 1979). L'inizio e la fine della stagione vegetativa sono ottenuti (vite ed olivo) dai bollettini fenologici regionali (CAAR, 2011) e da interviste ai contadini locali (colture agrarie e frutteti).

Sono considerate le quattro principali tipologie di coltura, indicate dal PTCP (Provincia di Imperia, 2009) come differenti classi di uso del suolo agricolo: oliveto, vigneto, frutteto e colture agrarie. Queste ultime rappresentano i tipici orti a conduzione familiare, caratterizzati da un'enorme varietà di piante coltivate, differenti per composizione e stagionalità nella valle. Questa eterogeneità è riassunta ai fini dei calcoli in un unico tipo di coltura, caratterizzata per ogni parametro necessario al modello dalla media pesata di tutte le varietà coltivate. I dati sulla distribuzione, la stagionalità e l'importanza di ciascuna varietà all'interno degli orti è ricavata tramite interviste ai contadini. Un procedimento analogo è seguito per la caratterizzazione dei frutteti.

L'impronta grigia dell'agricoltura (*WF<sub>agr, grey</sub>*) è data dalla somma dei valori di impronta grigia di ciascun tipo di uso del suolo agricolo (*WF<sub>crop, grey</sub>*), dove:

$$WF_{crop, grey} [q] = (AR \cdot \alpha \cdot A) / (c_{max} - c_{nat}) \quad [m^3/anno]$$

*AR* (kg/ha) è il tasso di applicazione di pesticidi e/o fertilizzanti,  $\alpha$  è la frazione dell'inquinante che subisce deflusso superficiale o sotterraneo, *c<sub>max</sub>* (kg/m<sup>3</sup>) la concentrazione massima ammissibile per il corpo idrico ricevente, *c<sub>nat</sub>* (kg/m<sup>3</sup>) la sua concentrazione naturale, *A* la superficie coltivata (ha) con la coltura [*q*]. Si utilizzano come indicatori gli agrofarmaci. I dati su tipologie e tassi di applicazione sono ricavati da interviste ai contadini e al direttore dell'ufficio agricoltura della Comunità Montana dell'Alta Valle Arroscia e dell'Olivio. Per i vigneti è utilizzato come indicatore il Methomyl, il più persistente tra quelli applicati (APAT, 2006). Dato che *AR* varia di anno in anno, a seconda della diffusione e virulenza dei patogeni, viene considerato un valore medio tra i due estremi di applicazione massima e minima. Le *c<sub>max</sub>* sono riferite alla legislazione vigente, ovvero al DM 56-2009 per i fitofarmaci e al Dlgs. 152/2006 per quanto concerne il rame (idoneità delle acque alla vita dei pesci). Si considera una frazione di deflusso dell'1% ( $\alpha = 0,01$ ), in riferimento a Dabrowsky *et al.* (2009).

### Impronta dell'allevamento

Le più significative tra le specie allevate sono indicate dal PTCP (Provincia di Imperia, 2009) come i bovini (Vacca Piemontese) e gli ovini (Pecora Brigasca), sui quali lo stesso documento fornisce il numero di capi allevati per ciascun comune. Le informazioni su tipologie e modalità di allevamento sono ricavate da interviste ai pastori. I parametri relativi alle razze allevate e alle loro caratteristiche sono forniti dal Portale Agricoltura della regione Liguria (Agriligurianet, 2011). Si ricavano da Mekonnen e Hoekstra (2010a) i volumi di acqua utilizzati per i servizi al bestiame (*WF<sub>serv</sub>*), di quella bevuta dagli animali (*WF<sub>drink</sub>*) e l'impronta del foraggio (*WF<sub>feed</sub>*). L'assunzione giornaliera di cibo è ottenuta da Rasby (2006) per le vacche, da BOA (1987) per le pecore.

L'impronta grigia legata agli allevamenti (*WF<sub>all, grey</sub>*) è calcolata come l'apporto medio di azoto dalle deiezioni (*Nd*). Viene considerato solo il periodo di pascolo (8 mesi), in quanto le deiezioni prodotte durante la stagione in stalla sono utilizzate per la concimazione in campo agricolo. *Nd* è ottenuto (Tab. II), come suggerito dallo studio effettuato dalla Provincia di Livorno (ARSIA, 1998), moltiplicando tra loro il peso medio di ogni capo (*a*), un fattore di correzione caratteristico per ogni razza (*b*) e la quantità media di azoto nelle

deiezioni (*c*). Viene assunto che vi sia una lisciviazione di azoto del 20,5% rispetto agli apporti, come indicato da Scotton *et al.* (2005).

$WF_{all, grey}$  è ricavata per ciascuna tipologia di animale allevato [*q*] tramite la formula:

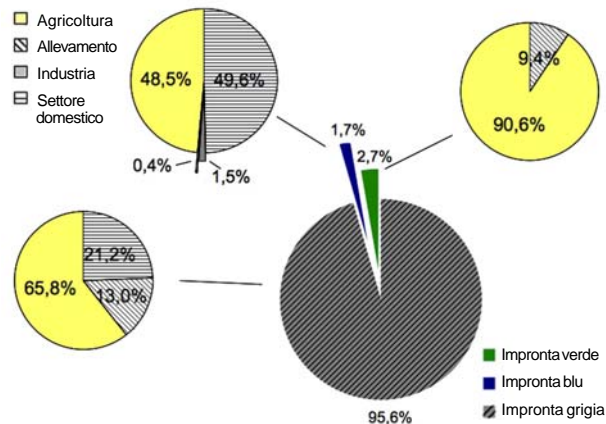
$$WF_{all, grey} [q] = L / (c_{max} - c_{nat}) \quad [m^3/anno]$$

Dove *L* è il carico totale lisciviato, corrispondente agli apporti azotati di tutti i capi presenti in valle. Le concentrazioni di azoto massime per i corsi d'acqua riceventi sono desunte dal Dlgs. 152/2006, mentre le concentrazioni naturali sono riferite al valore misurato nella Giara di Rezzo, che si considera come il torrente più incontaminato del bacino.

**Impronta dell'industria e del settore domestico**

L'impronta idrica del settore industriale ( $WF_{ind}$ ) è ottenuta dalla somma dell'acqua inglobata all'interno delle merci prodotte con quella di processo non restituita. La raccolta dei dati è avvenuta tramite interviste dirette a rappresentanti delle aziende (Tab. I).

L'impronta idrica del settore domestico ( $WF_{civ}$ ) è ottenuta dalla somma dell'impronta grigia dovuta agli scarichi reflui urbani ( $WF_{civ, grey}$ ), da quella blu ( $WF_{civ, blue}$ ) connessa alle perdite lungo la rete di distribuzione comunale dell'acqua potabile e alle captazioni idriche a scopo potabile destinate all'adiacente bacino del torrente Impero (Provincia di Imperia, 2009). Le caratteristiche degli impianti di depurazione per il calcolo di  $WF_{civ, grey}$  sono ricavate a livello comunale dal PTCP (Provincia di Imperia, 2009). Le portate e le concentrazioni di inquinanti in corrispondenza dei punti di immissione in alveo vengono stimati tramite il modello indicato dalla Provincia di Torino (1982), utilizzando come indicatore l'azoto totale.



**Fig. 3.** Composizione dell'impronta idrica complessiva del bacino dell'Arroscia ( $WF_{Arr}$ ).

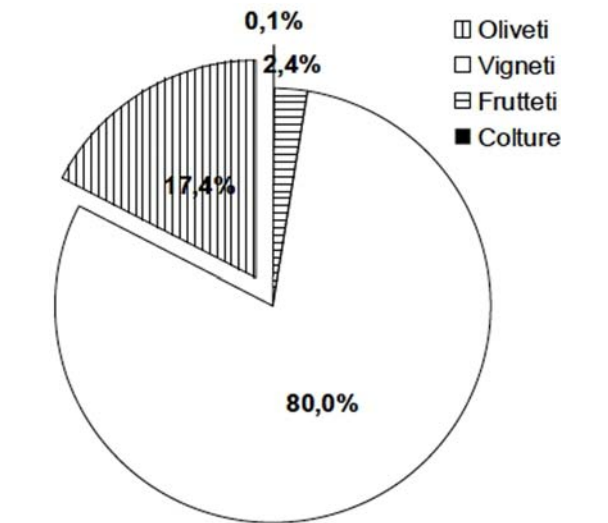
**Valutazione di sostenibilità**

La valutazione di sostenibilità ambientale di impronta blu all'interno di un bacino viene effettuata, come indicato da Hoekstra *et al.* (2011), confrontando la  $WF_{blue}$  incidente al suo interno con la disponibilità di acqua dolce ( $WA_{blue}$ ), dove:

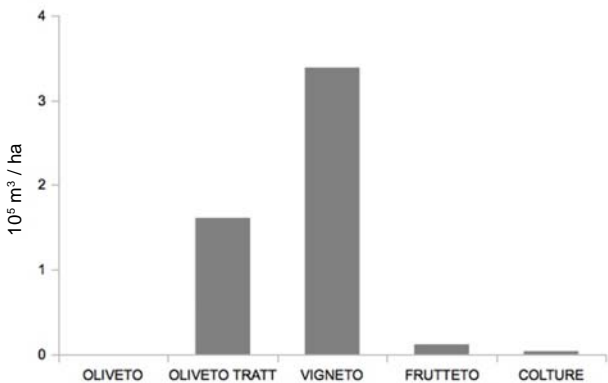
$$WA_{blue} = R_{nat} - EFR$$

**Tab. II.** Dati degli allevamenti utilizzati per i calcoli di impronta.

	Pecore	Vacche
Numero	1293	813
Peso medio (a)	60 kg	550 kg
Consumo di cibo (sostanza secca)	1,5 kg/die	11 kg/die
Fattore di conversione (b)	14,67	14,67
Frazione azotata delle feci (c)	0,008	0,004



**Fig. 4.** Composizione di  $WF_{agr, grey}$



**Fig. 5.**  $WF_{crop, grey}$  per ciascuna tipologia di coltura.

$R_{nat}$  (Run-off naturale) rappresenta la disponibilità di acqua dolce in assenza di intervento umano, mentre EFR sono le richieste ambientali di flusso, che l'uomo ha il dovere di non intaccare (Richter, 2010). Quando  $WF_{Arr,blue}$  eccede  $WA_{blue}$ , si ha una situazione di insostenibilità ambientale.  $R_{nat}$  è ottenuto dal Piano di Bacino (Provincia di Imperia, 2003) considerando la portata naturale mensile del torrente Arroscia alla sezione di chiusura. Si considera l'approccio cautelativo di Hoekstra (2011), che suggerisce di considerare EFR come l'80% di  $R_{nat}$ , e lo si confronta con i valori del Deflusso Minimo Vitale in corrispondenza della sezione di chiusura (Provincia di Imperia, 2003). Il DMV rappresenta infatti l'unica limitazione alle derivazioni indicata dal Piano di Bacino.

## RISULTATI

$WF_{Arr}$  per il periodo 2008-2010 ammonta a 231,1  $Mm^3/anno$ , ed è dovuta in massima parte alla componente grigia (96,1%). In figura 3 la composizione percentuale delle varie componenti (verde, blu e grigia), suddivise al loro interno secondo ciascun settore produttivo. L'impronta grigia è dovuta per la maggior parte all'agricoltura, in misura minore al settore domestico e all'allevamento. L'impronta verde, che contribuisce al 2,7% del totale, è dovuta in massima parte all'agricoltura e per il 9,4% all'allevamento. L'impronta blu contribuisce solo all'1,7% di quella totale ed è suddivisa in parti pressoché uguali tra agricoltura e settore domestico a cui si aggiunge una piccola percentuale da parte dei settori industriale e zootecnico.

## Impronta dell'agricoltura

Analizzando i dati disaggregati per settore produttivo, si osserva che l'impronta idrica dell'agricoltura ( $WF_{agr}$ ) è pari a 152,8  $Mm^3/anno$ , di cui il 95,6% è costituito dalla componente grigia ( $WF_{agr,gray}$ ) seguita da quella verde (3,3%) e da quella blu (1,1%). In figura 4 si può osservare come la componente grigia sia legata prevalentemente alla somministrazione di fitofarmaci ai vigneti, seguita dai trattamenti degli oliveti e da quelli dei frutteti e delle colture agrarie. Il vigneto risulta anche la coltura con una maggiore impronta grigia per ettaro, come si può notare in figura 5.

Se si considerano le impronte verde e blu a parte (Fig. 6), si osserva come gli oliveti diano un forte contributo all'impronta verde agricola. Il contributo maggiore all'impronta blu è dato invece dalle colture agrarie.

Analizzando tramite lo stesso ragionamento le differenze tra ciascun ettaro coltivato (Fig. 7), si può notare come le coltivazioni più intensive dal punto di vista idrico siano le colture agrarie ed il frutteto, seguite dall'oliveto irrigato, dal vigneto e dall'oliveto non irrigato (che caratterizza circa il 90% degli oliveti del territorio).

## Impronta dell'allevamento

L'impronta idrica dell'allevamento ( $WF_{all}$ ) è pari a 29,5  $Mm^3/anno$ . È costituita per la quasi totalità (98,2%) dalla componente grigia ( $WF_{all,gray}$ ), legata in prevalenza (74,3%) agli allevamenti bovini. Si osservi l'importanza relativa delle componenti blu e verde aggregate

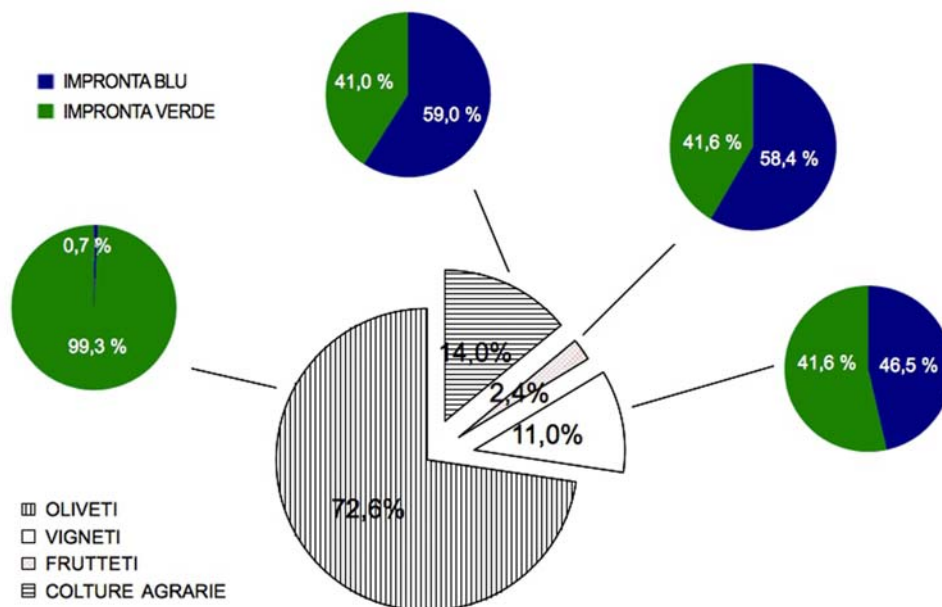


Fig. 6. Composizione di  $WF_{agr}$  secondo le componenti blu e verde, per tipologia di uso del suolo agricolo.



su  $WF_{all}$  totale (Fig. 8) e su ogni capo allevato (Fig. 9).

L'impronta dell'industria ( $WF_{ind}$ ) ammonta a 51114  $m^3$ /anno. È composta totalmente dalla componente blu ed è dovuta prevalentemente all'imbottigliamento di acqua minerale (97,1%), a cui fa seguito la produzione di calcestruzzo (2,9%) e la lavorazione e taglio di materiali e roccia (0,001%).

L'impronta del settore domestico ( $WF_{civ}$ ) ammonta a 48,8  $Mm^3$ /anno, ed è costituita per il 96,5% dalla componente grigia ( $WF_{civ,gray}$ ) e per il 3,5% da quella blu ( $WF_{civ,blue}$ ).  $WF_{civ,blue}$  è legata per la quasi totalità (99,9%) ai prelievi da sorgente destinati al Comune di Imperia e per la restante parte alle perdite lungo le reti di distribuzione di acqua potabile (222  $m^3$ /anno).

### Valutazione di sostenibilità

Come si può osservare in figura 10, per l'impronta blu i confini della sostenibilità (EFR) non sono mai superati, né considerando l'approccio cautelativo dell'80%, né tantomeno utilizzando i dati del DMV. Da tenere in considerazione il fatto che WA è sicuramente sottostimato, dal momento in cui rappresenta unicamente la portata naturale del torrente Arroscia alla sezione di chiusura e non la totale disponibilità di acqua dolce.

I mesi dell'anno in cui l'impronta blu è maggiore (giugno-settembre) sono anche quelli in cui la disponibilità idrica è minore. Tuttavia le caratteristiche estensive dell'economia valliva mantengono sempre  $WF_{Arr,blue}$  entro i limiti della sostenibilità.

I risultati ottenuti possono essere utilizzati per effettuare previsioni sull'evoluzione dell'impronta in seguito a scelte gestionali e di settore. Ad esempio, è noto che l'irrigazione dell'oliveto ne aumenta la resa. Si può dunque assumere che in un futuro l'irrigazione si espanda per rendere più produttivi i terreni. Anche se le previsioni economiche stimano un ulteriore abbandono dei campi coltivati (Provincia di Imperia, 2009), si può immaginare una potenziale impronta secondo lo scenario in cui tutto il territorio attuale ad oliveto venga convertito all'irrigazione. Come si può notare in figura 11, se questo avvenisse potrebbero essere violati i limiti di sostenibilità ( $EFR_2$ ) nei mesi caldi dell'anno (luglio-settembre), durante i quali vi è una minore disponibilità idrica. Ad aggravare la situazione potrebbero subentrare i mutamenti climatici che secondo le previsioni (EEA, 2012b) potranno ridurre ulteriormente le disponibilità idriche locali a causa dell'instaurarsi di condizioni più aride.

### DISCUSSIONE

La netta preponderanza dell'impronta grigia su quelle blu e verde testimonia che la criticità principale del territorio è rappresentata dall'inquinamento, in preva-

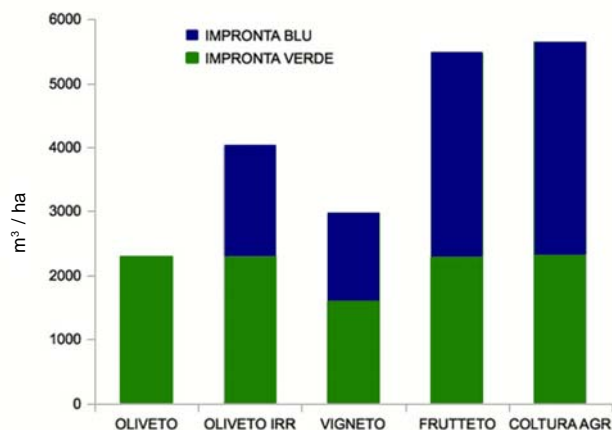


Fig. 7.  $WF_{crop,blue}$  e  $WF_{crop,green}$  per ciascun ettaro coltivato.

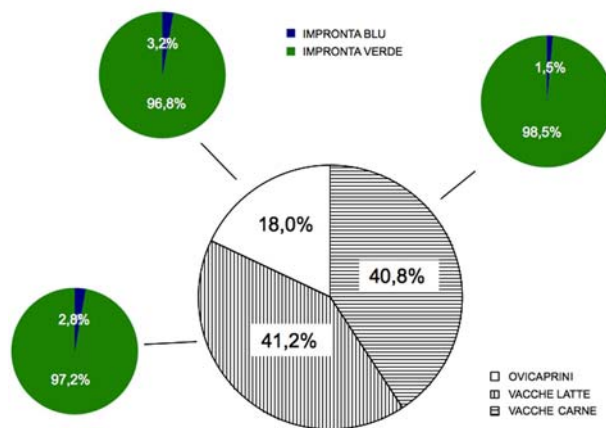


Fig. 8. Importanza delle componenti blu e verde di  $WF_{all}$

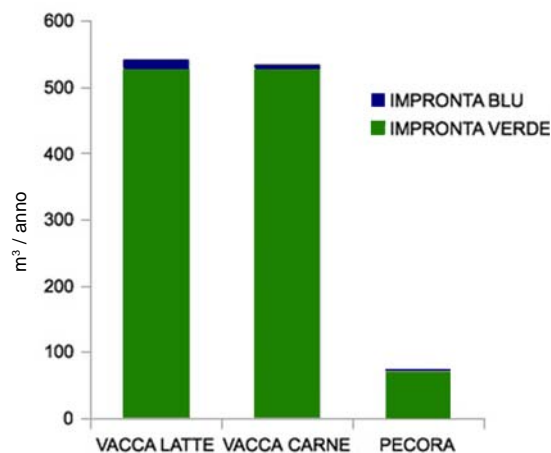


Fig. 9.  $WF_{all,blue}$  e  $WF_{all,green}$  per ciascun capo allevato.



lenza quello diffuso di origine agricola. L'utilizzo degli agrofarmaci nei calcoli di impronta grigia agricola è tuttavia inusuale, dal momento in cui la maggior parte degli studi sinora pubblicati (e.g. Mekonnen e Hoekstra, 2010b; Mekonnen e Hoekstra, 2011) ha utilizzato come indicatore l'azoto dei fertilizzanti. Hoekstra *et al.* (2011) sottolineano comunque come tra gli inquinanti prodotti debbano essere utilizzati quelli ai quali corrisponde un valore di impronta maggiore, che nel presente lavoro sono risultati i fitofarmaci. Anche per i calcoli sull'allevamento si è scelto di superare i metodi comunemente utilizzati, che non stimano il carico di inquinanti provenienti dagli allevamenti ma considerano l'impronta grigia analizzando solamente la fase di produzione del foraggio (Mekonnen e Hoekstra, 2010a). Se si fosse scelta tale metodologia anche per il presente studio, essa sarebbe stata nulla.

Nei risultati si sono aggregate ed analizzate separatamente l'impronta verde e quella blu, dal momento in cui rappresentano lo sfruttamento dell'acqua in quanto "sorgente" per i prelievi. L'agricoltura contribuisce alla maggior parte dell'impronta verde della valle, e rappresenta anche una buona percentuale dell'impronta di ciascun tipo di uso del suolo agricolo. Basti pensare all'impronta degli oliveti, in cui  $WF_{crop,green}$  rappresenta la quasi totalità dei volumi e quindi permette, allo stato attuale, di raggiungere le richieste dei campi senza compromettere i limiti di sostenibilità. Si noti l'importanza strategica dell'acqua verde, che ha un minore costo di opportunità di quella blu (Aldaya *et al.*, 2008). Il suo sfruttamento può comportare quindi una diminuzione delle pressioni sugli ecosistemi acquatici e sulle falde. Soprattutto nella produzione del cibo, migliorare la gestione dell'acqua verde ed incrementare la sua produttività può essere uno strumento utile per una gestione sostenibile delle risorse idriche (Zeng *et al.*, 2012).

Si vuole ora confrontare l'impronta blu con i parametri tradizionali sui prelievi idrici a scala di bacino. Il Piano di Bacino (Provincia di Imperia, 2003) fornisce i

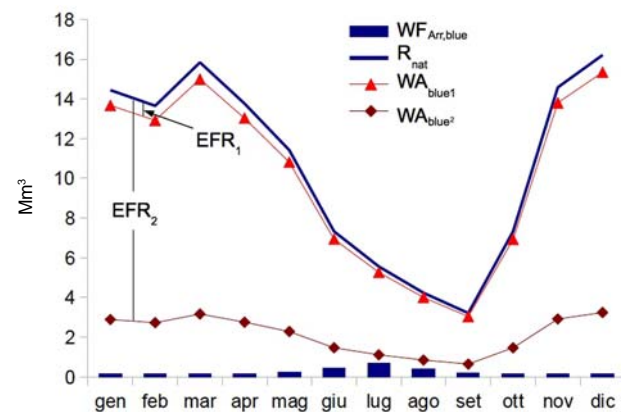
**Tab. III.** Confronto tra concessioni per i prelievi idrici a livello di bacino (Provincia di Imperia, 2003 mod.) ed impronta idrica blu relativa.

Destinazione	Concessioni (L/s)	Concessioni annuali (Mm <sup>3</sup> )	Impronta blu (Mm <sup>3</sup> )
Potabile	119	3,7	1,72
Igienica	32	1	1,72
Irrigua	160	5	1,68
Industriale	0,3	0,09	0,05

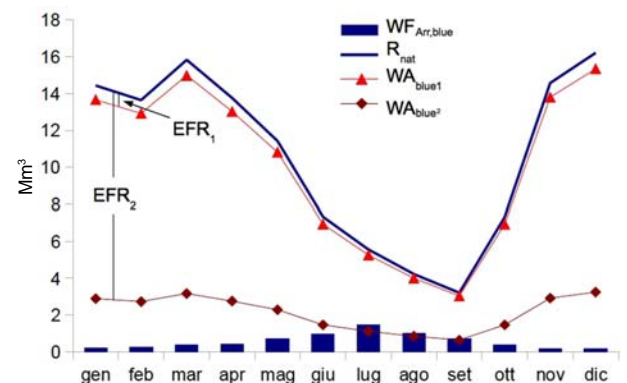
Lavori originali

dati relativi alle concessioni per i prelievi idrici, suddividendole per destinazione (Tab. III).

L'industria ha un'impronta blu corrispondente a circa il triplo dei volumi concessi. Quella del settore domestico corrisponde invece a poco meno di un terzo delle concessioni nel settore. Le concessioni a scopo irriguo integrate lungo la stagione vegetativa (giugno-settembre) ammontano a 1,68 Mm<sup>3</sup>, che è esattamente il volume di  $WF_{agr,blue}$ . L'impronta blu, dal momento in cui è per definizione minore o uguale alle derivazioni, indica dunque prelievi maggiori rispetto a quelli concessi (captazioni illegali) oppure un utilizzo assai razionale della risorsa. Del resto è possibile anche che si sia giunti ad una sovrastima di  $WF_{agr,blue}$ , che può derivare dalle caratteristiche intrinseche del modello utilizzato



**Fig. 10.** Confronto tra impronta blu mensile ( $WF_{Arr,blue}$ ), disponibilità idrica ( $WA_{blue}$ ) e richieste ambientali (EFR) per la valutazione di sostenibilità ambientale.  $WA_{blue1}$  è calcolata utilizzando i dati del DMV, mentre  $WA_{blue2}$  tramite l'approccio cautelativo dell'80%.



**Fig. 11.** Valutazione di sostenibilità ambientale dell'impronta blu secondo le previsioni di incremento dell'irrigazione dell'ulivo. Seguendo l'approccio di Hoekstra *et al.* (2011) i limiti della sostenibilità sono superati nei mesi secchi di luglio, agosto e settembre.

(che esclude fattori limitanti l'evapotraspirazione) e/o dall'imprecisione dei dati iniziali.

In ultima analisi si vuole notare come i consumi della città di Imperia, che costituiscono ingenti volumi d'acqua sottratti al bacino, non solo rappresentino il 99% dell'impronta blu del settore domestico, ma anche il 50% di quella della valle, superando di poco l'agricoltura. Il dato è peculiare, dato che il settore agricolo è a livello mondiale quello nettamente più idrovoro dell'economia (Chapagain e Hoekstra, 2004).

## CONCLUSIONI

La carenza e l'imprecisione di numerosi dati necessari per i calcoli, prevalentemente dovute alla scala di indagine e allo scarso interesse economico del territorio, hanno reso necessaria l'adozione di alcune approssimazioni. Queste hanno riguardato in particolare l'analisi dei dati meteorologici, che ha preso in considerazione tre anni consecutivi, non essendo disponibili serie locali sul lungo periodo; la semplificazione della modellazione sull'evapotraspirazione per la classe di uso del suolo "colture agrarie"; la mancanza di quelli relativi all'immissione di inquinanti dagli impianti di depurazione. Tuttavia la precisione assoluta del risultato finale (caratteristica che viene comunque persa nella modellizzazione di sistemi complessi) non è l'obiettivo dello studio, che è piuttosto quello di analizzare in che termini ciascun settore produttivo ricadente nel bacino contribuisce allo sfruttamento dell'acqua dolce

disponibile.

A prescindere dai limiti di scala e di affidabilità dei dati, è dunque chiaro come l'impronta idrica e la sua valutazione di sostenibilità ambientale possano risultare efficaci strumenti per la pianificazione territoriale e di settore, da poter inserire nei piani di bacino ed in quelli di tutela delle acque. Il raggiungimento dell'utilizzo sostenibile delle risorse potrebbe essere ricercato affiancando agli attuali strumenti di pianificazione territoriale un efficace metodo di eccezionale valore riassuntivo e divulgativo, utile sia a livello di analisi e pianificazione sia a quello di partecipazione ed educazione della cittadinanza.

L'impronta idrica ha il vantaggio di riassumere in che termini l'economia sfrutta le risorse idriche. Ridurre l'impronta significa ridurre gli impatti sulle risorse idriche di bacino, ed incrementare la porzione verde a scapito di quella blu può essere un utile strumento per diminuire le pressioni sulle risorse di acqua dolce, le quali vengono condivise con gli ecosistemi e pertanto hanno un valore aggiunto ma anche un elevato costo di opportunità (Aldaya *et al.*, 2008).

Come prospettive future, è auspicabile estendere lo studio all'intero bacino recettore (il Centa), sottoposto a impatti più intensi e vari rispetto all'area qui indagata. Sarebbe inoltre di grande interesse mettere in relazione i dati sull'impronta idrica con quelli sullo stato ecologico delle acque valutato attraverso i principali indicatori biologici previsti dalla direttiva 2000/60.

## BIBLIOGRAFIA

- Agrilurianet. *Portale agricoltura della Regione Liguria*. [www.agrilurianet.it](http://www.agrilurianet.it), ultimo accesso 12 aprile 2013.
- Aldaya M.M., Llamas M.R., 2008. *Water footprint analysis for the Guadiana river basin*. Value of Water Research Report Series n° 35, UNESCO-IHE.
- Aldaya M.M., Hoekstra A.Y., 2009. *The water needed for Italians to eat pasta and pizza*. Value of Water Research Report Series n° 36, UNESCO-IHE.
- Aldaya M.M., Allan J.A., Hoekstra A.Y., 2008. *Strategic importance of green water in international crop trade*. Value of Water Research Report Series n° 25, UNESCO-IHE.
- Aldaya M.M., Garrido A., Llamas M.R., Varelo-Ortega C., Novo P., Casado R.R., 2010. Water footprint and virtual water trade in Spain. In: *Water policy in Spain*, CRC Press, Leiden, The Netherlands: 49-59.
- Allan J.A., 1996. Policy responses to the closure of water resources: regional and global issues. In: *Water policy: allocation and management in practice*, P. Howsam and R.C. Carter.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper n. 56, Food and Agriculture Organization, Rome.
- APAT, 2006. Sostanze prioritarie ai fini della protezione delle acque sotterranee. In: *Piano di controllo degli effetti ambientali dei prodotti fitosanitari*. Manuali e linee guida APAT, Roma.
- ARSIA, 1998. *Progetto vulnerabilità da nitrati. Studio degli apporti azotati derivanti da attività agricola che danno luogo a lisciviazione nel territorio di Vada-S.Pietro in Palazzi*. Regione Toscana, 1998. 19 pp.
- Boa, 1987. *Predicting feed intake of food-producing animals*. Subcommittee on Feed Intake, Committee on Animal Nutrition, National Research Council, 1987, 96 pp.
- Brown S., Schreier H., Lavkulich L.M., 2009. Incorporating virtual water into water management: A British Columbia example. *Water Resources Management*, **13**: 2681-2696.
- Bulsink F., Hoekstra A.Y., Booij M.J., 2010. The water footprint of Indonesian provinces related to the consump-

- tion of crop products. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **14**: 119-128.
- CAAR, Centro di Agrometeorologia Applicata Regionale, 2011. Bollettini dell'olivo e della vite, anni 2008, 2009 e 2010. [www.caar.it](http://www.caar.it)
- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2004. *Water footprints of nations*. Value of Water Research Report Series n. 16, UNESCO-IHE.
- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2007. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. *Ecol. Econ.*, **64**: 109-118.
- Chapagain A.K., Orr S., 2008. *UK Water Footprint: the impact of the UK's food and fibre consumption on global water resources*, WWF-UK, Godalming, UK.
- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., Savenije H.H.G., Gautam R., 2006. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, **60**: 186-203.
- Dabrowski J.M., Murray K., Ashton P.J., Leaner J.J., 2009. Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions. *Ecological Economics*, **68/4**: 1074-1082.
- DIR 2000/60/CE, 2000. Direttiva del Parlamento europeo e del consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque.
- Dlgs 152/2006. Norme in materia ambientale. Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006, aggiornato al terzo correttivo Dlgs 128/10.
- DM 56/2009. Regolamento recante «Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo». Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 124 del 30-5-2009 - Supplemento Ordinario n. 83.
- Doorenbos J., Kassam A.H., 1979. *Yield response to water*. FAO Irrigation and drainage papers n. 33, FAO, Rome, 193 pp.
- EEA - Environment European Agency, 2012a. *Report on the Review of the European Water Scarcity and Droughts Policy*. 15 pp.
- EEA - Environment European Agency, 2012b. *Towards efficient use of water resources in Europe*. EEA report n. 1/2012, 72 pp.
- Ercin A.E., Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2012. *The water footprint of France*. Value of Water Research Report Series n. 56, UNESCO-IHE.
- FAO, 2005. *New\_LocClim Local climate estimator*. Disponibile su [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FAO, 2010. CROPWAT 8.0 model. Disponibile su [www.fao.org](http://www.fao.org)
- Hoekstra A.Y., 2003. *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade 12-13 December 2002*. Value of Water Research Report Series n. 12, UNESCO-IHE.
- Hoekstra A.Y., 2011. The global dimension of water governance: why the river basin approach is no longer sufficient and why cooperative action at global level is needed. *Water* **3**: 21-46.
- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, **21**: 35-48.
- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M., 2011. *The water footprint assessment manual*. Earthscan, London, UK. 228 pp.
- Hoekstra A.Y., Mekonnen M.M., 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the national academy of sciences*, **109**: 3232-3237.
- Ley 9/2010. Junta de Andalucía, de Aguas para Andalucía, BOJA n. 155 Sevilla, 9 de agosto, pp. 6-40.
- Liu J., Savenije H.H.G., 2008. Food consumption patterns and their effect on water requirement in China. *Hydrology and Earth System Science*, **12**: 887-898.
- Ma J., Hoekstra A.Y., Wang H., Chapagain A.K., Andwang D., 2006. Virtual versus real water transfers within China. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.*, **361**: 835-842.
- Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2010a. *The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products*. Value of Water Research Report Series n. 48, UNESCO-IHE.
- Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2010b. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrology and Earth System Science*, **14**: 1259-1276.
- Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Science*, **15**: 1577-1600.
- ORDEN ARM/2656/2008 de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Boletín Oficial del Estado, n. 229.
- Provincia di Imperia, 2003. *Piano di Bacino Stralcio sul Bilancio Idrico del Torrente Arroscia*. Approvato con D.C.P. N. 19 del 27/02/2003.
- Provincia di Imperia, 2009. *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale*. Approvato con Deliberazione Consiglio Provinciale n. 79 del 25/11/2009.
- Provincia di Torino, 1982. *Guida tecnica sui trattamenti delle acque. Tecniche di trattamento dei reflui, sistemi di depurazione e di smaltimento*. Franco Angeli editore, Milano 1982, pp. 386-397.
- Rasby R., 2006. Estimating daily forage intake of cows. In: *Beef cattle production*. <http://beef.unl.edu/stories/200608210.shtml>
- Richter B.D., 2010. Re-thinking environmental flows: From allocations and reserves to sustainability boundaries. *River Research and Applications*, **26/8**: 1052-1063.
- Rodríguez-Casado R., Garrido A., Llamas M.R., Aldaya M.M., 2009. *Análisis de la huella hídrica de la cuenca del Guadalquivir*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 2009.
- Rogers P., Hall A.W., 2003. *Effective Water Governance*. TEC Background Papers n. 7, Global Water Partnership, Stockholm, Sweden.

- Scotton A., Gianelle D., Paoletti R., Rigoni Stern G., 2005. Regime alimentare e di pascolamento della vacca da latte da alpeggio: effetti sulla distribuzione spaziale della fertilità del suolo. *Quaderni SOZOOALP* **2**: 15-58.
- UNEP, 2011. *Water footprint and corporate water accounting for resource efficiency*. United Nations Environment Programme, Paris. 91 pp.
- UNEP, 2012. *Measuring water use in a green economy*. Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel. 92 pp.
- Van Oel P.R., Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2009. The external water footprint of the Netherlands: geographically-explicit quantification and impact assessment. *Ecological Economics* **69**: 82-92.
- Zeitoun M., Allan J.A., Mohieldeen Y., 2010. Virtual water “flows” of the Nile Basin, 1998–2004: a first approximation and implications for water security. *Global Environmental Change*. **20/2**: 229-242.
- Zeng Z., Liu J., Koenenman P.H., Zarate E., Hoekstra A.Y., 2012. Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. *Hydrology and Earth System Science*, **16**: 2771-2781.